

Docket No.: 50212-354

PATENT

**IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE**

In re Application of

Eisuke SASAOKA, et al.

Serial No.:

Group Art Unit:

Filed: March 04, 2002

Examiner:

For: RAMAN AMPLIFICATION OPTICAL FIBER, OPTICAL FIBER COIL, RAMAN  
AMPLIFIER, AND OPTICAL COMMUNICATION SYSTEM



**CLAIM OF PRIORITY AND  
TRANSMITTAL OF CERTIFIED PRIORITY DOCUMENT**

Commissioner for Patents  
Washington, DC 20231

Sir:

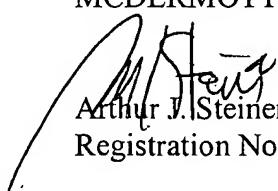
In accordance with the provisions of 35 U.S.C. 119, Applicants hereby claim the priority of:

**Japanese Patent Application Number 2001-083135, Filed March 22, 2001**

cited in the Declaration of the present application. A Certified copy is submitted herewith.

Respectfully submitted,

MCDERMOTT, WILL & EMERY

  
Arthur J. Steiner  
Registration No. 26,106

600 13<sup>th</sup> Street, N.W.  
Washington, DC 20005-3096  
(202) 756-8000 AJS:kjw  
**Date: March 4, 2002**  
Facsimile: (202) 756-8087

50212-354  
Fisuke Sasagawa, et al  
March 4, 2002

日 本 国 特 許  
JAPAN PATENT OFFICE

McDermott, Will & Emery  
3

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日  
Date of Application:

2001年 3月22日

出 願 番 号  
Application Number:

特願2001-083135

出 願 人  
Applicant(s):

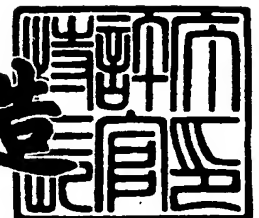
住友電気工業株式会社  
富士通株式会社



2001年11月30日

特 許 庁 長 官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

及 川 耕 造



出証番号 出証特2001-3105432

【書類名】 特許願

【整理番号】 101Y0018

【提出日】 平成13年 3月22日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 G02F 1/35501  
G02B 6/00

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県横浜市栄区田谷町 1 番地 住友電気工業株式会  
社 横浜製作所内

【氏名】 笹岡 英資

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県横浜市栄区田谷町 1 番地 住友電気工業株式会  
社 横浜製作所内

【氏名】 角井 素貴

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県横浜市栄区田谷町 1 番地 住友電気工業株式会  
社 横浜製作所内

【氏名】 大西 正志

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県川崎市中原区上小田中 4 丁目 1 番 1 号 富士通  
株式会社内

【氏名】 内藤 崇男

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県川崎市中原区上小田中 4 丁目 1 番 1 号 富士通  
株式会社内

【氏名】 田中 俊毅

【特許出願人】

【識別番号】 000002130

【氏名又は名称】 住友電気工業株式会社

【代表者】 岡山 紀男

【特許出願人】

【識別番号】 000005223

【氏名又は名称】 富士通株式会社

【代表者】 秋草 直之

【代理人】

【識別番号】 100088155

【弁理士】

【氏名又は名称】 長谷川 芳樹

【選任した代理人】

【識別番号】 100089978

【弁理士】

【氏名又は名称】 塩田 辰也

【選任した代理人】

【識別番号】 100092657

【弁理士】

【氏名又は名称】 寺崎 史朗

【選任した代理人】

【識別番号】 100110582

【弁理士】

【氏名又は名称】 柴田 昌聰

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 014708

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 0001754

特2001-083135

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 ラマン増幅用光ファイバ、光ファイバコイル、ラマン増幅器および光通信システム

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 ラマン増幅用励起光が供給されることにより信号光をラマン増幅するラマン増幅用光ファイバであって、

前記信号光の波長での波長分散の絶対値が  $6 \text{ ps/nm/km}$  以上  $20 \text{ ps/nm/km}$  以下であり、実効断面積  $A_{\text{eff}}$  が  $20 \mu\text{m}^2$  以下であり、ラマン利得係数  $G_R/A_{\text{eff}}$  が  $0.005 (\text{W}\cdot\text{m})^{-1}$  以上であることを特徴とするラマン増幅用光ファイバ。

【請求項 2】 信号光を伝搬するとともに、ラマン増幅用励起光が供給されることにより前記信号光をラマン増幅するラマン増幅用光ファイバであって、

前記信号光の波長での波長分散の絶対値が  $6 \text{ ps/nm/km}$  以上  $20 \text{ ps/nm/km}$  以下であり、実効断面積  $A_{\text{eff}}$  が  $15 \mu\text{m}^2$  未満であることを特徴とするラマン増幅用光ファイバ。

【請求項 3】 請求項 1 または請求項 2 に記載のラマン増幅用光ファイバが積層巻きされたことを特徴とする光ファイバコイル。

【請求項 4】 入力端に入力した信号光をラマン増幅して出力端より出力するラマン増幅器であって、

前記入力端と前記出力端との間の少なくとも一部に設けられた請求項 1 または請求項 2 に記載のラマン増幅用光ファイバと、

このラマン増幅用光ファイバに前記ラマン増幅用励起光を供給する励起光供給手段と

を備えることを特徴とするラマン増幅器。

【請求項 5】 前記入力端から前記出力端へ到るまでの前記信号光の波長における累積波長分散の絶対値が  $100 \text{ ps/nm}$  以下であることを特徴とする請求項 4 記載のラマン増幅器。

【請求項 6】 信号光を伝送するとともに、請求項 4 記載のラマン増幅器により前記信号光をラマン増幅することを特徴とする光通信システム。

【請求項 7】 前記信号光の波長が C バンド (1 5 3 0 n m ~ 1 5 6 5 n m ) 内にあることを特徴とする請求項 6 記載の光通信システム

【請求項 8】 前記信号光の波長が L バンド (1 5 6 5 n m ~ 1 6 2 5 n m ) 内にあることを特徴とする請求項 6 記載の光通信システム

【請求項 9】 前記信号光の波長が S バンド (1 4 6 0 n m ~ 1 5 3 0 n m ) 内にあることを特徴とする請求項 6 記載の光通信システム

【発明の詳細な説明】

【0 0 0 1】

【発明の属する技術分野】

本発明は、ラマン増幅用励起光が供給されることにより信号光をラマン増幅するラマン増幅用光ファイバ、このラマン増幅用光ファイバを含むラマン増幅器、このラマン増幅用光ファイバが積層巻きされた光ファイバコイル、および、このラマン増幅器を含む光通信システムに関するものである。

【0 0 0 2】

【従来の技術】

ラマン増幅器は、ラマン増幅用光ファイバを光増幅媒体として含み、このラマン増幅用光ファイバにラマン増幅用励起光が供給されることにより信号光をラマン増幅することができるものであって、このラマン増幅用光ファイバにおける非線形光学現象の 1 種であるラマンシフトを利用している。この観点からは、ラマン増幅用光ファイバは、非線形性が高いことが望ましい。例えば、特開平 1 1 - 8 4 4 4 0 号公報に開示されたラマン増幅器は、ラマン増幅用光ファイバとして高非線形性光ファイバまたは分散補償光ファイバを用いて、集中定数的な光増幅を行うものである。

【0 0 0 3】

【発明が解決しようとする課題】

ラマン増幅用光ファイバとして高非線形性光ファイバを用いる場合、ラマン増幅効率が大きくなって、ラマン増幅器におけるラマン増幅の利得が大きくなり、或いは、比較的短いファイバ長で十分なラマン増幅の利得を得ることができる。しかしながら、高非線形性光ファイバは信号光波長においても非線形性が高いこ

とから、信号光は4光波混合等の非線形光学現象の影響を受けて波形劣化する虞がある。

#### 【0004】

一方、ラマン増幅用光ファイバとして分散補償光ファイバを用いる場合、信号光を増幅するだけでなく、光ファイバ伝送路の波長分散を補償するすることができる。また、信号光波長における分散補償光ファイバの波長分散の絶対値が大きいことから、分散補償光ファイバにおける4光波混合に因る信号光の波形劣化を抑制することができる。しかしながら、信号光波長における分散補償光ファイバの波長分散の絶対値が大きいことから、光ファイバ伝送路の分散補償を行うためには、光ファイバ伝送路の長さに応じて分散補償光ファイバの長さを厳密に管理する必要があり、光ファイバ伝送路の設計またはラマン増幅器の設計における自由度が小さい。

#### 【0005】

本発明は、上記問題点を解消する為になされたものであり、高効率で信号光をラマン増幅することができ、非線形光学現象の影響に因る信号光の波形劣化を抑制することができ、光ファイバ伝送路またはラマン増幅器の設計の自由度が高いラマン増幅用光ファイバを提供することを目的とする。また、このラマン増幅用光ファイバを含むラマン増幅器、このラマン増幅用光ファイバが積層巻きされた光ファイバコイル、および、このラマン増幅器を含む光通信システムを提供することをも目的とする。

#### 【0006】

##### 【課題を解決するための手段】

本発明に係るラマン増幅用光ファイバは、ラマン増幅用励起光が供給されることにより信号光をラマン増幅するラマン増幅用光ファイバであって、信号光の波長での波長分散の絶対値が $6 \text{ ps/nm/km}$ 以上 $20 \text{ ps/nm/km}$ 以下であり、実効断面積 $A_{\text{eff}}$ が $20 \mu\text{m}^2$ 以下であり、ラマン利得係数 $G_R/A_{\text{eff}}$ が $0.005 \text{ (W}\cdot\text{m)}^{-1}$ 以上であることを特徴とする。或いは、本発明に係るラマン増幅用光ファイバは、信号光の波長での波長分散の絶対値が $6 \text{ ps/nm/km}$ 以上 $20 \text{ ps/nm/km}$ 以下であり、実効断面積 $A_{\text{eff}}$ が $15 \mu\text{m}^2$ 未満であ



ることを特徴とする。このラマン増幅用光ファイバは、実効断面積が上記範囲であり或いはラマン利得係数が上記範囲であることにより、高効率で信号光をラマン増幅することができる。また、信号光の波長での波長分散の絶対値が上記範囲であることにより、非線形光学現象の影響に因る信号光の波形劣化を抑制することができ、光ファイバ伝送路またはラマン増幅器の設計の自由度が高い。

## 【 0 0 0 7 】

本発明に係る光ファイバコイルは、上記の本発明に係るラマン増幅用光ファイバが積層巻きされたことを特徴とする。この光ファイバコイルを用いることで、集中定数型のラマン増幅器を実現することができる。

## 【 0 0 0 8 】

本発明に係るラマン増幅器は、入力端に入力した信号光をラマン増幅して出力端より出力するラマン増幅器であって、入力端と出力端との間の少なくとも一部に設けられた上記の本発明に係るラマン増幅用光ファイバと、このラマン増幅用光ファイバにラマン増幅用励起光を供給する励起光供給手段とを備えることを特徴とする。また、このラマン増幅器は、入力端から出力端へ到るまでの信号光の波長における累積波長分散の絶対値が  $100 \text{ ps/nm}$  以下であるのが好適である。このラマン増幅器は、上記の本発明に係るラマン増幅用光ファイバを用いたものであるので、ラマン増幅の利得が高く、信号光の波形劣化を抑制することができ、また、設計の自由度が高い。特に、累積波長分散の絶対値が  $100 \text{ ps/nm}$  以下であれば、信号光の波形劣化を抑制する上で好適である。

## 【 0 0 0 9 】

本発明に係る光通信システムは、信号光を伝送するとともに、上記の本発明に係るラマン増幅器により信号光をラマン増幅することを特徴とする。また、この光通信システムにおける信号光の波長は、Cバンド（ $1530 \text{ nm} \sim 1565 \text{ nm}$ ）内、Lバンド（ $1565 \text{ nm} \sim 1625 \text{ nm}$ ）内およびSバンド（ $1460 \text{ nm} \sim 1530 \text{ nm}$ ）内の何れかであるのが好適である。この光通信システムは、上記の本発明に係るラマン増幅器を用いたものであるので、信号光を長距離伝送することができ、信号光の波形劣化を抑制することができ、また、設計の自由度が高い。

## 【 0 0 1 0 】

## 【発明の実施の形態】

以下、添付図面を参照して本発明の実施の形態を詳細に説明する。なお、図面の説明において同一の要素には同一の符号を付し、重複する説明を省略する。

## 【 0 0 1 1 】

## (第1実施形態)

先ず、本発明に係るラマン増幅用光ファイバ、光ファイバコイル、ラマン増幅器および光伝送システムの第1実施形態について説明する。

## 【 0 0 1 2 】

図1は、第1実施形態に係るラマン増幅用光ファイバ100の屈折率プロファイルを示す図である。本実施形態に係るラマン増幅用光ファイバ100は、石英ガラスをベースとするものであって、光軸中心を含み外径が $2a$ であって $\text{GeO}_2$ が添加されたコア領域と、このコア領域を取り囲み外径が $2b$ であってF元素が添加された第1クラッド領域と、この第1クラッド領域を取り囲む第2クラッド領域とを含む。

## 【 0 0 1 3 】

そして、ラマン増幅用光ファイバ100は、信号光の波長での波長分散の絶対値が $6 \text{ ps/nm/km}$ 以上 $20 \text{ ps/nm/km}$ 以下であり、実効断面積 $A_{\text{eff}}$ が $20 \mu\text{m}^2$ 以下であり、ラマン利得係数 $G_R/A_{\text{eff}}$ が $0.005 (\text{W}\cdot\text{m})^{-1}$ 以上である。或いは、ラマン増幅用光ファイバ100は、信号光の波長での波長分散の絶対値が $6 \text{ ps/nm/km}$ 以上 $20 \text{ ps/nm/km}$ 以下であり、実効断面積 $A_{\text{eff}}$ が $15 \mu\text{m}^2$ 未満である。ここで、信号光の波長は、Cバンド、LバンドおよびSバンドの何れかに含まれる。

## 【 0 0 1 4 】

このラマン増幅用光ファイバ100は、実効断面積が上記範囲であり或いはラマン利得係数が上記範囲であることにより、高効率で信号光をラマン増幅することができる。また、信号光の波長での波長分散の絶対値が上記範囲であることにより、非線形光学現象の影響に因る信号光の波形劣化を抑制することができ、光ファイバ伝送路またはラマン増幅器の設計の自由度が高い。

## 【0015】

図2は、第1実施形態に係るラマン増幅器10の構成図である。本実施形態に係るラマン増幅器10は、ラマン増幅用光ファイバ100が積層巻きされた光ファイバコイル110と、この光ファイバコイル110に供給すべきラマン増幅用励起光を出力する励起光源120とを備える。また、この図には、ラマン増幅器10に入力させるべき信号光を出力する信号光源130、および、ラマン増幅器10から出力された信号光のスペクトルを測定する光スペクトルアナライザ140も示されている。

## 【0016】

このラマン増幅器10では、励起光源120から出力されたラマン増幅用励起光は光ファイバコイル110に供給される。信号光源130から出力された信号光は、光ファイバコイル110を伝送するとともに、その伝送の際にラマン増幅される。そして、このラマン増幅された信号光は、光スペクトルアナライザ140に入力し、スペクトルが測定される。

## 【0017】

このラマン増幅器10は、上記の本実施形態に係るラマン増幅用光ファイバ100を用いたものであるので、ラマン増幅の利得が高く、信号光の波形劣化を抑制することができ、また、設計の自由度が高い。特に、累積波長分散の絶対値が $100\text{ ps/nm}$ 以下であれば、信号光の波形劣化を抑制する上で好適である。

## 【0018】

次に、上述した本実施形態の具体的な実施例について説明する。ラマン増幅用光ファイバ100は、コア領域の外径 $2a$ が $3.5\text{ }\mu\text{m}$ であり、第1クラッド領域の外径 $2b$ が $8.8\text{ }\mu\text{m}$ であり、第2クラッド領域の外径が $125\text{ }\mu\text{m}$ であり、第2クラッド領域に対するコア領域の比屈折率差 $\Delta^+$ が $3.35\%$ であり、第2クラッド領域に対する第1クラッド領域の比屈折率差 $\Delta^-$ が $-0.35\%$ であった。そして、このラマン増幅用光ファイバ100は、Cバンド内の波長 $1550\text{ nm}$ において、伝送損失が $0.53\text{ dB/km}$ であり、実効断面積 $A_{\text{eff}}$ が $9.4\text{ }\mu\text{m}^2$ であり、波長分散が $-6\text{ ps/nm/km}$ であり、分散スロープが $+0.02\text{ ps/nm}^2/\text{km}$ であった。そして、光ファイバコイル110は、波

長 1 4 5 0 n m のラマン増幅用励起光が供給されたとき、ラマン利得係数  $G_R / A_{eff}$  が  $0.0071 (W \cdot m)^{-1}$  であった。

## 【 0 0 1 9 】

光ファイバコイル 1 1 0 は、このラマン増幅用光ファイバ 1 0 0 を長さ 2. 1 k m とし、これをリールに積層巻き付けたものであった。励起光源 1 2 0 から出力されるラマン増幅用励起光は、波長が 1 4 5 0 n m であり、光ファイバコイル 1 1 0 への入力時のパワーが 3 0 0 m W であった。信号光源 1 3 0 から出力される信号光の波長は 1 5 5 0 n m であった。このとき、波長 1 5 5 0 n m におけるラマン増幅器 1 0 のラマン増幅利得は 1 0 d B であった。

## 【 0 0 2 0 】

この実施例では、ラマン増幅器 1 0 全体の波長分散（すなわち、ラマン増幅用光ファイバ 1 0 0 の累積波長分散）は、信号光波長 1 5 5 0 n m において  $-12.6 p s / n m$  であり絶対値が小さい。したがって、このラマン増幅器 1 0 を含む光通信システムでは、光ファイバ伝送路全体に対するラマン増幅用光ファイバ 1 0 0 の波長分散の寄与が小さく、波長分散設計の自由度が高い。また、ラマン増幅用光ファイバ 1 0 0 の波長分散は、信号光波長 1 5 5 0 n m において  $-6 p s / n m / k m$  であり絶対値が大きい。したがって、ラマン増幅用光ファイバ 1 0 0 における 4 光波混合の発生が抑制され、信号光の波形劣化が抑制される。

## 【 0 0 2 1 】

## (第 2 実施形態)

次に、本発明に係るラマン増幅用光ファイバ、光ファイバコイル、ラマン増幅器および光伝送システムの第 2 実施形態について説明する。図 3 は、第 2 実施形態に係る光通信システム 1 の構成図である。本実施形態に係る光通信システム 1 は、ラマン増幅器 1 0、送信器 2 0 および受信器 3 0 を備え、送信器 2 0 からラマン増幅器 1 0 までの間には光ファイバ伝送路 4 0 が敷設されている。

## 【 0 0 2 2 】

本実施形態では、送信器 2 0 は、S バンド内の波長の信号光を出力する S バンド用信号光源 2 1、C バンド内の波長の信号光を出力する C バンド用信号光源 2 2、L バンド内の波長の信号光を出力する L バンド用信号光源 2 3、および、信

号光合波器 2 4 を含む。信号光合波器 2 4 は、S バンド用信号光源 2 1、C バンド用信号光源 2 2 および L バンド用信号光源 2 3 それぞれから出力された信号光を合波して、その合波した信号光を光ファイバ伝送路 4 0 へ送出する。

## 【 0 0 2 3 】

ラマン増幅器 1 0 は、S バンド用励起光源 1 2 1、C バンド用励起光源 1 2 2、L バンド用励起光源 1 2 3 および励起光合波器 1 2 4 を含む。S バンド用励起光源 1 2 1 は、S バンド用信号光源 2 1 から出力された信号光をラマン増幅し得る波長のラマン増幅用励起光を出力する。C バンド用励起光源 1 2 2 は、C バンド用信号光源 2 2 から出力された信号光をラマン増幅し得る波長のラマン増幅用励起光を出力する。L バンド用励起光源 1 2 3 は、L バンド用信号光源 2 3 から出力された信号光をラマン増幅し得る波長のラマン増幅用励起光を出力する。そして、励起光合波器 1 2 4 は、S バンド用励起光源 1 2 1、C バンド用励起光源 1 2 2 および L バンド用励起光源 1 2 3 それぞれから出力されたラマン増幅用励起光を合波して、その合波したラマン増幅用励起光を光ファイバコイル 1 1 0 へ送出する。

## 【 0 0 2 4 】

光ファイバコイル 1 1 0 は、ラマン増幅用光ファイバ 1 0 0 が積層巻きされたものである。また、ラマン増幅用光ファイバ 1 0 0 は、各信号光の波長での波長分散の絶対値が  $6 \text{ ps/nm/km}$  以上  $20 \text{ ps/nm/km}$  以下であり、実効断面積  $A_{\text{eff}}$  が  $20 \mu\text{m}^2$  以下であり、ラマン利得係数  $G_R/A_{\text{eff}}$  が  $0.005 \text{ (W}\cdot\text{m)}^{-1}$  以上である。或いは、ラマン増幅用光ファイバ 1 0 0 は、各信号光の波長での波長分散の絶対値が  $6 \text{ ps/nm/km}$  以上  $20 \text{ ps/nm/km}$  以下であり、実効断面積  $A_{\text{eff}}$  が  $15 \mu\text{m}^2$  未満である。

## 【 0 0 2 5 】

この光通信システム 1 では、S バンド用励起光源 1 2 1、C バンド用励起光源 1 2 2 および L バンド用励起光源 1 2 3 それぞれから出力されたラマン増幅用励起光は、励起光合波器 1 2 4 により合波されて、ラマン増幅用励起光を光ファイバコイル 1 1 0 へ供給される。S バンド用信号光源 2 1、C バンド用信号光源 2 2 および L バンド用信号光源 2 3 それぞれから出力された信号光は、信号光合波

器 2 4 により合波されて、光ファイバ伝送路 4 0 へ送出される。そして、その信号光は、光ファイバ伝送路 4 0 を伝搬した後にラマン増幅器 1 0 に到達し、ラマン増幅器 1 0 内の光ファイバコイル 1 1 0 を伝送するとともに、その伝送の際にラマン増幅される。そして、このラマン増幅された信号光は、受信器 3 0 に入力して受信される。このように、この光通信システム 1 は、S バンド、C バンドおよび L バンドそれぞれの信号光を用いて波長多重光伝送を行うことができるので、大容量の情報を長距離伝送することができる。

## 【 0 0 2 6 】

このラマン増幅器 1 0 は、本実施形態に係るラマン増幅用光ファイバ 1 0 0 を用いたものである。ラマン増幅の利得が高く、信号光の波形劣化を抑制することができる。また、設計の自由度が高い。特に、累積波長分散の絶対値が  $100 \text{ ps/nm}$  以下であれば、信号光の波形劣化を抑制する上で好適である。また、この光通信システム 1 は、このようなラマン増幅器 1 0 を用いたものである。信号光を長距離伝送することができ、信号光の波形劣化を抑制することができ、また、設計の自由度が高い。

## 【 0 0 2 7 】

次に、上述した本実施形態の具体的な実施例について説明する。ラマン増幅用光ファイバ 1 0 0 の屈折率プロファイルは、図 1 に示したものと同様であるが、コア領域の外径  $2a$  が  $3.9 \mu\text{m}$  であり、第 1 クラッド領域の外径  $2b$  が  $9.8 \mu\text{m}$  であり、第 2 クラッド領域の外径が  $125 \mu\text{m}$  であり、第 2 クラッド領域に対するコア領域の比屈折率差  $\Delta^+$  が  $3.35\%$  であり、第 2 クラッド領域に対する第 1 クラッド領域の比屈折率差  $\Delta^-$  が  $-0.35\%$  であった。そして、このラマン増幅用光ファイバ 1 0 0 は、S バンド内の波長  $1480 \text{ nm}$  において、伝送損失が  $0.65 \text{ dB/km}$  であり、実効断面積  $A_{\text{eff}}$  が  $8.4 \mu\text{m}^2$  であり、波長分散が  $-19.0 \text{ ps/nm/km}$  であり、分散スロープが  $+0.004 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$  であった。C バンド内の波長  $1550 \text{ nm}$  において、伝送損失が  $0.55 \text{ dB/km}$  であり、実効断面積  $A_{\text{eff}}$  が  $9.0 \mu\text{m}^2$  であり、波長分散が  $-18.7 \text{ ps/nm/km}$  であり、分散スロープが  $+0.004 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$  であった。また、L バンド内の波長  $1610 \text{ nm}$  において、伝送損失が  $0.$

5 2 d B / k m であり、実効断面積  $A_{\text{eff}}$  が  $9.5 \mu\text{m}^2$  であり、波長分散が  $-18.5 \text{ ps} / \text{nm} / \text{km}$  であり、分散スロープが  $+0.004 \text{ ps} / \text{nm}^2 / \text{km}$  であった。

## 【 0 0 2 8 】

この実施例でも、ラマン増幅器 1 0 全体の波長分散（すなわち、ラマン増幅用光ファイバ 1 0 0 の累積波長分散）は、各信号光波長 1 5 5 0 n m において絶対値が小さい。したがって、このラマン増幅器 1 0 を含む光通信システム 1 では、光ファイバ伝送路 4 0 に対するラマン増幅用光ファイバ 1 0 0 の波長分散の寄与が小さく、波長分散設計の自由度が高い。また、ラマン増幅用光ファイバ 1 0 0 の波長分散は、信号光波長 1 5 5 0 n m において絶対値が大きい。したがって、ラマン増幅用光ファイバ 1 0 0 における 4 光波混合の発生が抑制され、信号光の波形劣化が抑制される。

## 【 0 0 2 9 】

なお、S バンド用信号光源 2 1、C バンド用信号光源 2 2 および L バンド用信号光源 2 3 それぞれは、図 3 では 1 台ずつ示したが、出力波長が異なるものが複数台設けられていてもよい。S バンド用励起光源 1 2 1、C バンド用励起光源 1 2 2 および L バンド用励起光源 1 2 3 それぞれも、図 3 では 1 台ずつ示したが、出力波長が異なるものが複数台設けられていてもよい。また、送信器 2 0 から受信器 3 0 までの間に、光ファイバ伝送路 4 0 およびラマン増幅器 1 0 それぞれが複数設けられていてもよい。

## 【 0 0 3 0 】

## 【発明の効果】

以上、詳細に説明したとおり、本発明に係るラマン増幅用光ファイバは、信号光の波長での波長分散の絶対値、実効断面積  $A_{\text{eff}}$  およびラマン利得係数  $G_R / A_{\text{eff}}$  それぞれが適切な数値範囲とされているので、高効率で信号光をラマン増幅することができ、非線形光学現象の影響に因る信号光の波形劣化を抑制することができ、光ファイバ伝送路またはラマン増幅器の設計の自由度が高い。また、このラマン増幅用光ファイバが積層巻きされた光ファイバコイルを用いることで、集中定数型のラマン増幅器を実現することができる。

## 【 0 0 3 1 】

本発明に係るラマン増幅器は、上記の本発明に係るラマン増幅用光ファイバを用いたものであるので、ラマン増幅の利得が高く、信号光の波形劣化を抑制することができ、また、設計の自由度が高い。特に、累積波長分散の絶対値が  $100 \text{ ps/nm}$  以下であれば、信号光の波形劣化を抑制する上で好適である。また、本発明に係る光通信システムは、上記の本発明に係るラマン増幅器を用いたものである所以、信号光を長距離伝送することができ、信号光の波形劣化を抑制することができ、また、設計の自由度が高い。

## 【図面の簡単な説明】

## 【図 1】

第 1 実施形態に係るラマン増幅用光ファイバの屈折率プロファイルを示す図である。

## 【図 2】

第 1 実施形態に係るラマン増幅器の構成図である。

## 【図 3】

第 2 実施形態に係る光通信システムの構成図である。

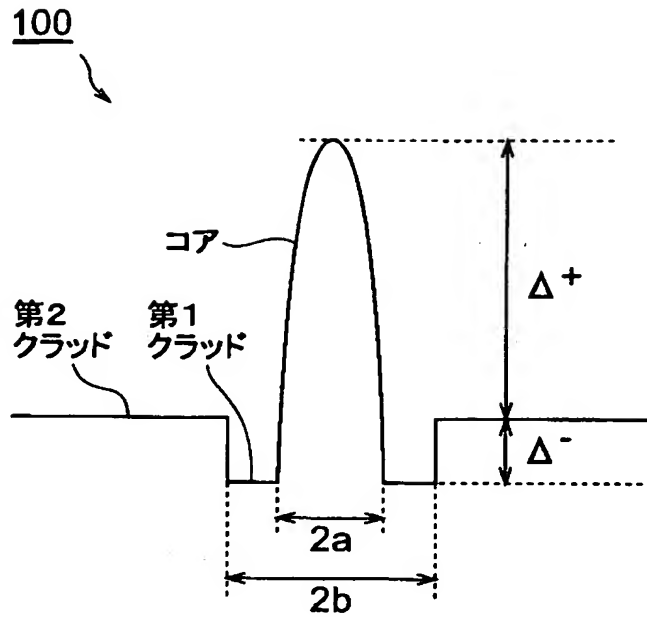
## 【符号の説明】

1 … 光通信システム、10 … ラマン増幅器、20 … 送信器、21 … Sバンド用信号光源、22 … Cバンド用信号光源、23 … Lバンド用信号光源、24 … 信号光合波器、30 … 受信器、40 … 光ファイバ伝送路、100 … ラマン増幅用光ファイバ、110 … 光ファイバコイル、120 … 励起光源、121 … Sバンド用励起光源、122 … Cバンド用励起光源、123 … Lバンド用励起光源、124 … 励起光合波器、130 … 信号光源、140 … 光スペクトルアナライザ。

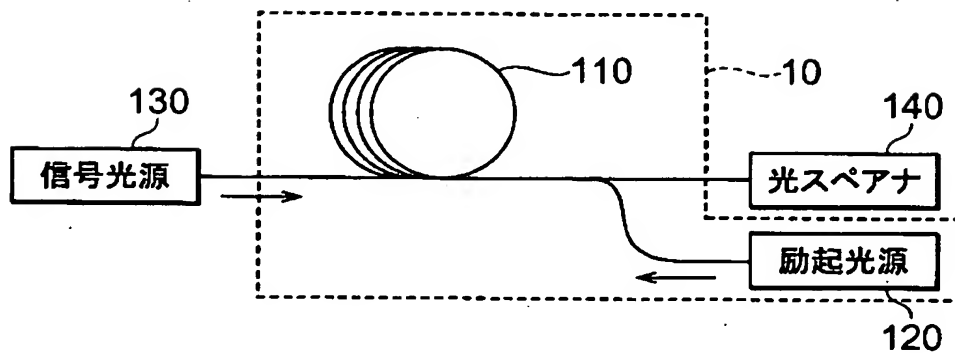


【書類名】 図面

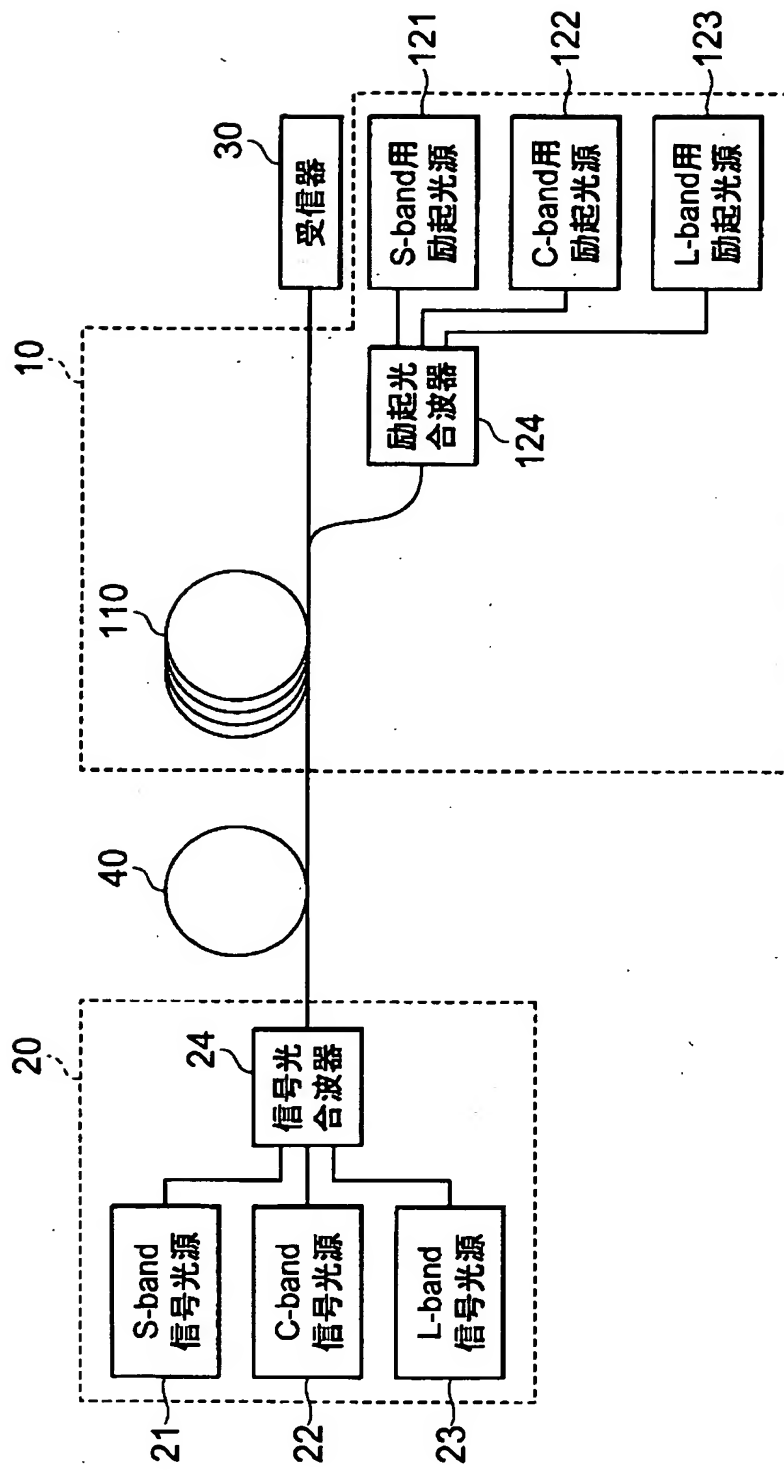
【図 1】



【図 2】



【図 3】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 高効率で信号光をラマン増幅することができ、非線形光学現象の影響に因る信号光の波形劣化を抑制することができ、光ファイバ伝送路またはラマン増幅器の設計の自由度が高いラマン増幅用光ファイバを提供する。

【解決手段】 ラマン増幅器 1 0 は、ラマン増幅用光ファイバ 1 0 0 が積層巻きされた光ファイバコイル 1 1 0 と、光ファイバコイル 1 1 0 に供給すべきラマン増幅用励起光を出力する励起光源 1 2 0 とを備える。ラマン増幅用光ファイバ 1 0 0 は、信号光波長での波長分散の絶対値が  $6 \text{ ps/nm/km}$  以上  $20 \text{ ps/nm/km}$  以下であり、実効断面積  $A_{\text{eff}}$  が  $20 \mu\text{m}^2$  以下であり、ラマン利得係数  $G_R/A_{\text{eff}}$  が  $0.005 (\text{W}\cdot\text{m})^{-1}$  以上である。或いは、ラマン増幅用光ファイバ 1 0 0 は、信号光波長での波長分散の絶対値が  $6 \text{ ps/nm/km}$  以上  $20 \text{ ps/nm/km}$  以下であり、実効断面積  $A_{\text{eff}}$  が  $15 \mu\text{m}^2$  未満である。

【選択図】 図 2

出 願 人 履 歷 情 報

識別番号 [000002130]

1. 変更年月日	1990年 8月29日
[変更理由]	新規登録
住 所	大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号
氏 名	住友電気工業株式会社

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000005223]

1. 変更年月日 1996年 3月26日

[変更理由] 住所変更

住 所 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号

氏 名 富士通株式会社